

생태학적 하천유지유량 산정을 위한 River2D 모형의 적용

Application of River2D for Estimation of Ecological Instream Flow

노경범^{*}, 박성천^{**}, 이용희^{***}, 진영훈^{****}, 박명옥^{*****}

Kyong-Bum Roh, Sung-Chun Park, Yong-Hee Lee, Young-Hoon Jin,
Myoung-Ok Park

요 지

과거의 하천은 이·치수에 주목적을 두고 하천정비를 실시하였으며, 이 때문에 하천은 직선화되거나 하천구조물을 설치하여 원래의 고유한 특성을 상실한 채 자연적인 모습을 찾아보기 어려운 상황에 이르렀다. 과거와 같은 하천의 난개발은 하천 생태계를 교란하였으며, 하천을 서식처로 삼고 살아가던 많은 동식물이 하천환경의 변화와 파괴로 인해 사라졌거나 생존을 위협받고 있다. 그러나, 최근에는 이러한 하천환경을 과거와 같이 생물의 종다양성이 풍부한 곳으로 만들기 위한 노력이 하천 개발과정에서 다양하게 전개되고 있으며, 이를 위한 연구도 진행되고 있다.

본 연구에서는 하천환경에서 어류의 서식처 보전을 위한 하천유지유량을 산정하기 위해 2차원 생태모델인 River2D 모형을 섬진강 송정지점을 대상으로 하여 적용하였다. 모형의 적용을 위해 송정지점에서의 대표어종을 선정하였으며, 서식처 특성 파악을 위해 하천 수리 및 하도특성을 조사하였다. 조사된 결과를 이용하여 River2D 모형을 구축하였으며, 구축된 모형을 이용하여 송정구간에서 대표어종인 피라미와 갈겨니의 서식처 보전을 위한 생태학적 하천유지유량을 추정하였다. 생태학적 하천유지유량은 모델의 결과와 실제 도입 가능수량 등을 검토하여 최종적인 하천유지를 결정하였으며, 그 결과 송정구간은 7.0 m³/s 이상으로 산정되었다.

본 연구에서는 미시서식처 모형에 의해 생태유지유량을 산정하였으나, 진정한 의미의 생태학적 하천유지유량은 수리수문학적 특성뿐만 아니라 생화학적 특성을 고려한 거시적인 관점에서 검토하여야 할 것이다.

핵심용어 : 하천유지유량, River2D, 미시서식처모형

1. 서 론

과거의 하천 개발의 주목적은 수자원의 이·치수 측면을 주로 하여 개발하는 경우가 많았으며, 이로 인해 하천의 종횡단 특성은 인위적인 직강화와 하천단면 형상을 갖도록 하천정비가 이루어져 하천내 서식하는 식생, 어류 등 하천 생태계는 심각한 훼손을 입었다. 최근에는 과거의 이런 무분별한 하천개발에 의해 훼손된 하천생태계를 복원·보전하고자 많은 노력들이 이루어

* 정회원 · 전남발전연구원 환경·해양연구팀 연구원 · E-mail : kbyj3711@naver.com - 발표자
** 정회원 · 동신대학교 토목공학과 교수 · E-mail : psc@dsu.ac.kr
*** 정회원 · 동신대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : md49@nate.com
**** 정회원 · 동신대학교 토목공학과 연구교수 · E-mail : nmdrjin@gmail.com
***** 정회원 · 우주엔지니어링 부사장 · E-mail : mopark5818@hanmail.net

지고 있으며, 하천을 바라보는 관점 또한 과거의 수치원적인 측면뿐만 아니라 하천수질, 생태계가 인간에게 미치는 심미적인 영향도 중요시되고 있다.

하천유지유량의 결정하는데 있어 어류 서식처 모의방법(habitat simulation method)은 어류 서식처 공간에서 수리조건에 적합한 가중된 가용면적(WUA: Weighted Usable Area)-유량 관계를 구해 어류 서식에 적합한 최적 조건을 결정하는 방법으로 이 방법은 유량점증방법론에 따른 방법의 일종이다.

본 연구에서는 하천에서의 어류서식처를 고려한 하천유지유량을 산정함에 있어 유량점증방법론(IFIM: Instream Flow Incremental Methodology)에 근본을 두고 가중가용면적(Weighted Usable Area)-유량관계를 이용하여 물리서식처를 2차원으로 평가할 수 있는 River2D 모형을 이용하였다. River2D 모형은 하천에서 어류의 물리서식처의 2차원 모의를 위해 캐나다 앨버타대학(Alberta University)에 의해 2002년에 개발되었으며, 지속적으로 수치모의 프로그램에 대한 보완이 이루어지고 있다. River2D 모형은 유량점증방법론에 근본을 두고 개발된 모형으로 수리와 물리 서식처를 2차원적으로 평가할 수 있는 모형이다. 본 연구의 연구대상지점인 송정지점에 대해 2차원 물리서식처 모형인 River2D를 적용하여 섬진강의 우점종인 피라미와 갈겨니의 성장 단계(life stage) 중 산란기와 성어기에 대해 하천유지유량을 산정하였다.

Loars와 Sale(1981)은 1차원 물리 서식처 모형인 PHABSIM을 이용하여 유량과 가중가용면적(WUA)의 관계를 구할 수 있으며, PHABSIM에 의해 산출된 값으로부터 어류서식에 필요한 유량을 얻을 수 있다고 하였다. 그리고, 최근에는 1차원 모형인 PHABSIM의 단점을 극복하기 위해 2차원 및 3차원 모형에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Leclerc et al.,1995, Yi Shen et al., 2008). 우효섭 등(1998)은 국내 최초로 금강 본류에 물고기 서식처를 고려한 하천유지유량 결정 방법을 제시하였으며, 어류의 서식처조건에 필요한 하천의 필요유량 산정에 관한 연구로는 강정훈 등(2004), 성영두 등(2005), 장창래 등(2009)이 있다. 그리고, 임동균 등(2007) 등은 하도 서식처 조성을 위해, 오국열 등(2008)은 하천의 서식처 변화에 따른 물리서식처 산정을 위해 River2D 모형을 이용하여 물리 서식처 모의를 실시하였다.

2. 수치모형 및 연구대상 구간

2.1 River2D 모형

본 연구에서 이용된 River2D 모형은 유량점증방법론에 의한 물리 서식처 평가 모델로 기존 전 세계적으로 널리 이용되고 있는 1차원 물리 서식처 모형(PHAMSIM: Physical Habitat Simulation System) 단점을 극복하기 위해 만들어진 모델로 2차원 물리 서식처 모형이다. River2D 모형의 수치해석은 동수역학 모델부분과 서식처 모델 부분으로 구분되며, 동수역학 모델의 지배방정식은 2차원 평균수심 천수방정식으로 질량보존방정식과 운동방정식은 다음과 같다.

질량보존방정식 :

$$\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

운동량방정식 :

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (Uq_x) + \frac{\partial}{\partial y} (Vq_x) + \frac{g}{2} \frac{\partial}{\partial x} H^2 = gH(S_{0x} - S_{fx}) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} (H\tau_{xx}) + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial}{\partial y} (H\tau_{xy}) \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (Uq_y) + \frac{\partial}{\partial y} (Vq_y) + \frac{g}{2} \frac{\partial}{\partial y} H^2 = gH(S_{0y} - S_{fy}) + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial}{\partial x} (H\tau_{yx}) \right) + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial}{\partial y} (H\tau_{yy}) \right) \quad (3)$$

여기서, H 는 수심, U, V 는 x, y 방향의 수심평균 유속, q_x, q_y ($q_x = HU, q_y = VH$)는 각 방향 유속에 따른 유량, g 는 중력 가속도, ρ 는 물의 밀도, S_{0x}, S_{0y} 는 x, y 방향의 하상 경사, S_{fx}, S_{fy} 는 x, y 방향의 마찰 경사, $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{yy}$ 는 각 방향에 대한 전단응력이다.

River2D의 서식처 모델은 PHABSIM에서 구성되어 사용된 가중가용면적(WUA)의 계산에 기초를 두고 있다. 가중가용면적(WUA)은 각 절점에서 평가되어지는 복합적합도지수(CSI, 범위 0.0~1.0)에 의해 계산된다. Habitat 모형은 하나의 수심과 두 개의 유속을 계산하여 입력된 적합도 지수에 맞춰 변환되어져 가중가용면적(WUA)을 각 셀 별로 계산한다.

2.2 연구 대상 구간

연구 대상 지점인 송정구간은 섬진강 중하류부에 위치하고 있으며, 저수량은 16.44 m^3 , 갈수량은 7.79 m^3 이다. 연구대상 구간의 하폭은 상·하류단이 약 300 m이며, 상시 흐름이 존재하는 구간은 상류단이 약 50 m, 하류단이 약 70 m이다. 하상은 모래·잔자갈, 굵은 자갈로 구성되어 있으며, 상류로부터 하류까지 여울과 소가 발달되어 있어 어류가 서식하기에는 적당한 장소로 여겨진다.

연구대상 지역의 하상 재료는 자갈이 60%이상이며, 자갈·모래가 전체 99%를 구성하고 있다. 이 구간은 보성강 합류후 지점으로 상·하류의 하상은 큰자갈, 자갈, 모래가 혼재되어 있으며, 저수로는 주로 모래로 구성된 자연하상을 이루고 있다.

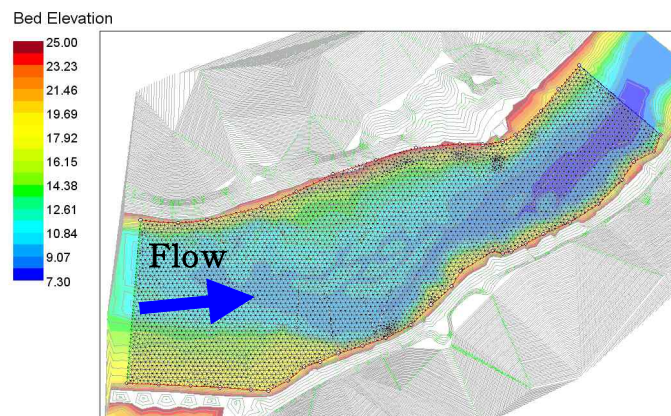


그림 1. 송정지점 하상고 및 River2D 수치계산 mesh 구성도

3. 모의 결과 및 분석

본 연구에서는 섬진강 송정지점에서 어류 서식을 위한 최적 유지유량 산정을 2차원 생태모형인 River2D 모형을 이용하였으며, 서식처 분석을 위한 대상어종은 섬진강의 우점종을 점하고 있는 피라미와 갈겨니를 대상으로 하였다. 그림 2는 피라미의 산란기, 성어기의 유량별 가중가용면적 분포를 나타낸 것이다. 피라미의 최적 생태유량은 산란기에는 $7.0 \text{ m}^3/s$, 성어기에는 $10.0 \text{ m}^3/s$ 로 산정되었다. WUA 결과로부터 피라미의 산란기에는 상류부, 만곡부 등 여울과 소가 적절히 조화된 곳에서 WUA가 높게 나타난 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 성어기도 비슷한 결과를 나타내고 있다. 그림 3은 송정구간에서 갈겨니의 산란기, 성어기에 대한 유속분포와 WUA-유량관계를 나타낸 것이다. 갈겨니의 최적 생태유량은 산란기에는 $10.0 \text{ m}^3/s$, 성어기에는 $15.0 \text{ m}^3/s$ 로 산정되었다. 갈겨니의 경우 피라미와는 달리 산란기와 성어기에 선호하는 유량과 수심 조건의 차가 많기

때문에 이러한 결과가 도출된 것으로 판단된다.

표 1은 River2D 모델에 의해 산정된 대표어종의 최적 서식처를 위한 추천 하천유지유량을 나타낸 것으로 모의 결과 생태학적 추천유량은 갈수량보다 큰 7.79 /s 이상으로 추천하였다.

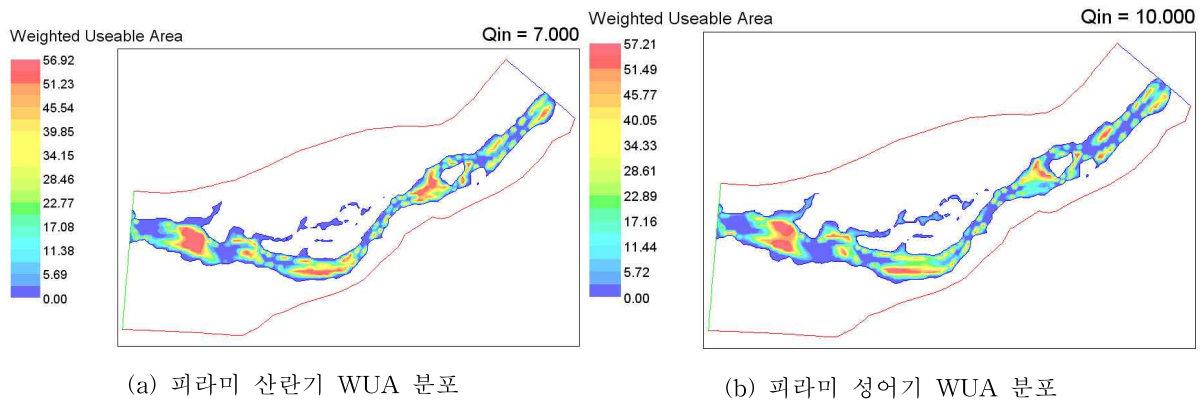


그림 2. 송정지점 피라미의 최적유량-WUA분포

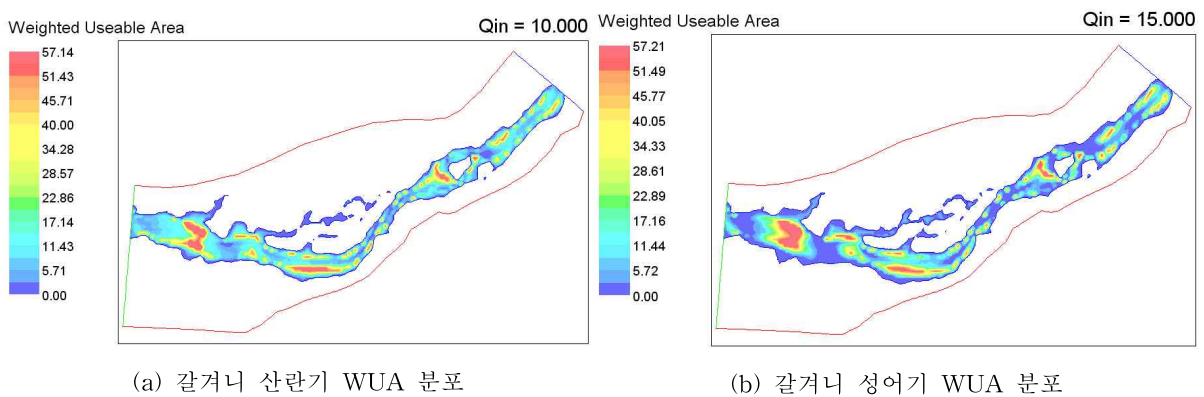


그림 3. 송정지점 갈겨니의 최적유량-WUA분포

표 1. 생태학적 추천 유량

하천명	대상 구간	어류서식처 필요유량(m ³ /s)		생태학적추천유량 (m ³ /s)
		산란기	성어기	
섬진강	송 정	5.0~7.0 (7.0)	10.0~15.5 (7.0)	7.0 이상

4. 결 론

본 연구에서는 2차원 물리 서식처 모형인 River2D 모형을 이용하여 섬진강 송정지점의 대표어종에 대한 하천유지유량을 산정하였으며, 그 결과 다음과 같다.

1. River2D에 의해 산정된 추천생태유량과 현실적으로 도입 가능유지유량을 감안하였으며, 최소한 갈수량을 초과하는 것을 기본조건으로 하여 최적의 생태유지유량을 산정하였다. 그 결과 대표어종인 피라미와 갈겨니의 산란기와 성어기의 최적 하천유지유량은 7.79 m³/s 이상으로 산정되었

다.

2. 본 연구에 의해 산정된 피라미와 갈겨니가 서식하는데 필요한 생태유량은 어디까지나 피라미와 갈겨니를 위한 최소 생태유량이므로 본 연구에서의 대표어종뿐만 아니라 실제 하천에 서식하고 있는 다른 종의 어류를 위한 필요유량은 이와 다른 결과를 나타낼 것이다.

향후 연구과제로 본 연구에서는 본격적으로 다루지 않았으나 어류가 하천에서 서식하는데 있어 필수적 인자인 수질, 온도 및 하도 특성을 충분히 고려한 거시적 생태모델에 관한 연구가 필요하다. 그리고, 섬진강에 대한 장기적인 수리학적, 생태학적 모니터링을 통해 섬진강 고유의 종과 보존·보전이 필요한 어종에 대한 물리 서식처 기준 작성 및 서식처 조건에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. 김규호, 조원철, 전병호(2000), 수량·수질 모의치를 이용한 어류 서식 조건 유지에 필요한 적정 유량 산정, 한국수자원학회논문집, 제33권 제1호
2. 노경범(2011), 하천생태모형을 이용한 어류의 서식처 보전 및 관리방안 연구, 동신대 대학원, 박사학위논문
3. 오국열 등(2007), 하천의 서식처 변화에 따른 물리서식처 산정, 대한토목학회 정기학술대회
4. 임동균 등(2007), 하도 서식처 조성을 위한 수리구조물의 2차원 물리서식처 모의, 대한토목학회 정기학술대회
5. 임동균 등(2009), 생태유량 산정을 위한 간편 물리서식처 모의기법 개발과 적용, 대한토목학회 정기학술대회
6. Loar, James M, and Michael J. Sale.(1981), Analysis of Environmental Issues Related to Small-Scale Hydroelectric Development: V. Instream Flow Needs for Fishery Resources. Publication No. 1892, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge Tennessee, pp.123